

## Laser material machining using hybrid processes

**Publication number:** DE10217678

**Publication date:** 2003-11-06

**Inventor:** PETRING DIRK (NL)

**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)

**Classification:**

- international: **B23K9/095; B23K10/00; B23K10/02; B23K26/06; B23K26/14; B23K28/02; B23K9/095; B23K10/00; B23K10/02; B23K26/06; B23K26/14; B23K28/00; (IPC1-7): B23K26/42; B23K26/06**

- european: **B23K9/095; B23K10/00D; B23K10/02; B23K26/06A; B23K26/14F; B23K28/02**

**Application number:** DE20021017678 20020419

**Priority number(s):** DE20021017678 20020419

**Also published as:**



WO03089185 (A1)  
EP1497071 (A1)  
US2005167403 (A1)  
EP1497071 (A0)  
AU2003232612 (A1)

**Report a data error here**

Abstract not available for DE10217678

Abstract of corresponding document: **US2005167403**

In a method for machining workpieces by combining a first machining tool with at least one second machining tool, wherein at least one of the first and second machining tools employs laser radiation, the first machining tool is operated with a first pulse modulation and the at least one second machining tool is operated with a second pulse modulation. The first and second pulse modulations are synchronized. Same pulse frequencies can be used for the first and second pulse modulations, or, in the alternative, pulse frequencies are used that are an integral multiple relative to one another, wherein the first and second pulse modulations are in a fixed or variably controlled phase relationship relative to one another.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 102 17 678 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 23 K 26/42**  
B 23 K 26/06

⑳ Aktenzeichen: 102 17 678.7  
㉔ Anmeldetag: 19. 4. 2002  
㉕ Offenlegungstag: 6. 11. 2003

**DE 102 17 678 A 1**

㉑ **Anmelder:**  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

㉒ **Vertreter:**  
Patentanwälte Dr. Sturies Eichler Füssel, 42289  
Wuppertal

㉓ **Erfinder:**  
Petring, Dirk, Dr.rer.nat., Kerkrade, NL

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**  
DE 196 27 803 C1  
DE 195 00 512 A1  
DE 100 06 516 A  
DE 41 15 561 A1  
EP 08 00 434 B1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ **Laser-Materialbearbeitung mit hybriden Prozessen**  
⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, wird eine synchronisierte Modulation des einen Bearbeitungswerkzeugs bei der Kombination mit dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerkzeug durchgeführt.

**DE 102 17 678 A 1**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet.

[0002] Derartige Verfahren und Vorrichtungen zur Materialbearbeitung, bei der mindestens ein Bearbeitungswerkzeug in Form eines Laserstrahls in Kombination mit anderen Bearbeitungswerkzeugen, zum Beispiel Laserstrahlen und/oder Lichtbögen und/oder Plasmastrahlen und/oder einem oder mehrerer anderen Energie- oder Teilchenstrahlen eingesetzt wird, zum Beispiel Flamme, spanende Werkzeuge, Wasserstrahl, Elektronenstrahl sind bekannt. Als repräsentative Beispiele können hierzu die Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte des Fraunhofer ILT zum sogenannten Laser-Lichtbogen Hybridschweißen herangezogen werden.

[0003] Die Hybridtechnik beruht dabei auf der Kombination des Laserstrahlschweißens mit dem Metallschutzgasschweißen, im folgenden MSG genannt, also dem Metall-Inert-Gas-, im folgenden MIG genannt, oder Metall-Aktiv-Gas-Schweißen, im folgenden MAG genannt oder mit dem Wolfram-Inert-Gasschweißen, im folgenden WIG genannt.

[0004] Dazu wird auf folgende Schutzrechte verwiesen:

- Düsenanordnung zum gleichzeitigen Schweißbearbeiten mit einem Laserstrahl und mit einem Lichtbogen (DE 196 27 803 C1);
- Verfahren zum Verschweißen von Werkstücken (DE 195 00 512);
- Verfahren zum Schweißen von Werkstücken mit Laserstrahlung (EP 0 800 434 B1).

[0005] Bei den folgend aufgeführten Beispielen bezüglich des Standes der Technik wird die Tiefschweißwirkung der fokussierten Laserstrahlung mit zusätzlicher Energie und im Falle des Schutzgasschweißens auch mit zusätzlicher Werkstoffzugabe aus einem Lichtbogen kombiniert. Zusatzenergie und gegebenenfalls Zusatzwerkstoff dienen zum Beispiel zur Überbrückung von Fügespalten oder zum Ausgleich von Kantenversatz. Der Wirkungsgrad, die Produktivität und die Qualität des Hybridprozesses sind den Eigenschaften der Einzelprozesse überlegen.

[0006] Eine weitere Möglichkeit nutzt die Kombination unterschiedlicher Laserstrahlquellen, zum Beispiel stark fokussierte CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung mit Diodenlaserstrahlung größerer zum Beispiel linien- oder ringförmiger Wirkflächen, um ein Vor- oder Nachwärmen des Gutes oder eine Vergrößerung des Schmelzvolumens und dadurch dessen bessere Entgasung zu erreichen, siehe zum Beispiel S. Bouss, B. Brenner, E. Beyer: Innovations in laser hybrid technology, Industrial Laser Solutions, January 2001, Penn Well. Des weiteren nutzt ein Patent des Fraunhofer ILT zum Abbrand-stabilisierten Brennschneiden die Kombination von mehreren Laserstrahlen oder die Kombination von Laserstrahlung mit anderen Energiequellen aus (DE 41 15 561 C2).

[0007] Ferner verwenden sowohl Verfahren der Lasermaterialverarbeitung als auch Lichtbogenprozesse, zum Beispiel MIG/MAG oder WIG zur Zeit bei alleiniger Verwendung für die Materialbearbeitung oder auch in hybrider Kombination mit anderen Werkzeugen teilweise bereits die Möglichkeit der Pulsmodulation zur zeitlichen Steuerung des Bearbeitungsprozesses. Bestimmte Laserquellentypen verfügen allerdings gar nicht über einen Dauer-Betrieb, sondern sind nur im Pulsbetrieb einsetzbar.

[0008] Eine Pulsmodulation von Strahlungs-, Lichtbogen-, Plasma- oder anderen Energie-, Impuls- oder Teilchenquellen, zum Beispiel Flamme, spanende Werkzeuge, Wasserstrahl, Elektronenstrahl dienen bei den Einzelverfahren zum Beispiel:

- der gezielten Beeinflussung der Wechselwirkungszeit,
- der dosierten und portionsweisen Energieeinbringung,
- dem dosierten, portionsweisen Materialabtrag (zum Beispiel beim Perkussionsbohren)
- der schonenden Materialbearbeitung mit reduzierter Wärmeeinflußzone durch die Verwendung kurzer Pulsan- und langer Pulsauszeiten,
- der sicheren Tropfenablösung (MSG),
- dem verbesserten Materialübergang (MSG),
- der Spritzerminimierung (MSG),
- der Prozeßstabilisierung in ansonsten instabilen Arbeitsbereichen, zum Beispiel exotherme Überreaktion beim Brennschneiden mit Wärmestau, unruhiger Übergangs-Lichtbogen beim Schutzgasschweißen im mittleren Stromstärkebereich,
- der Erhöhung der Energiestromdichte im Puls bei gegenüber dem Dauer-Betrieb verminderter oder gleicher mittlerer Stromdichte und Streckenenergie, und
- der kurzzeitigen Erhöhung der Prozeßtemperatur und/oder des Verdampfungsanteils in der Wechselwirkungszone.

[0009] Bei den bisherigen bekannten Techniken wird vor allem die eingeschränkte Beeinflußbarkeit des Kopplungsgrades der einzelnen Verfahren bei der Kombination zu einem Hybridverfahren als nachteilig empfunden.

[0010] Bisher wird zur Festlegung des Kopplungsgrades vor allem der Abstand bzw. der Überlappungsgrad der Wirkbereiche genutzt. Um zum Beispiel die Kopplung von Laserstrahlen und Lichtbogen zu verstärken, werden ihre Fußpunkte auf dem Werkstück angenähert. Um sie zu unterdrücken, werden die Fußpunkte voneinander entfernt. Dabei wird aber gleichzeitig die Größe und Form der Wechselwirkungsgeometrie und die effektive Einwirkzeit verändert, was in bestimmten Fällen sehr nachteilig sein kann. Einige Beispiele werden dies nun näher erläutern.

[0011] Gerade beim Einsatz von CO<sub>2</sub>-Lasern ist auf die Vermeidung einer Plasmaabschirmung der Laserstrahlung im Lichtbogen oder Plasma zu achten. Gleichzeitig wird aber eine Führung und/oder Konzentration des Lichtbogens durch den fokussierten Laserstrahl angestrebt. Damit liegen sich einander negativ beeinflussende Ziele vor.

[0012] Ähnliches kann für die Kombination, zum Beispiel hinsichtlich der Wellenlänge unterschiedlicher Laserstrahlungen gelten, wenn zum Beispiel eine starke Kopplung einerseits zur Ausnutzung der absorbtionserhöhenden Wirkung auf dem Werkstück vorteilhaft ist, zum Beispiel durch die Erzeugung von periodischen Oberflächenstrukturen, andererseits aber eine zu starke Kopplung zur Störung zumindest eines der Verfahren führt, zum Beispiel dadurch, daß dessen Laserstrahlung im durch die andere Laserstrahlung entstehenden Materialdampf oberhalb des Werkstücks absorbiert oder gestreut wird.

[0013] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der Eingangs genannten Arten anzugeben, die es ermöglichen, mit technisch einfachen Mitteln den Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzelverfahren in der eingesetzten Hybridtechnik gezielt und variabel auf elektronischem Wege einstellbar zu gestalten.

[0014] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine synchronisierte, also synchrone oder asynchrone, Modulation des einen Bearbeitungswerkzeugs bei der Kombination mit dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerkzeug durchgeführt wird.

[0015] Mit der Erfindung wird daher der Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzelverfahren in der eingesetzten Hybridtechnik gezielt und variabel auf elektronischem Wege ohne mechanische Verstellungen am Werkzeug einstellbar, vor allem ohne zwangsläufig auf eine Veränderung des örtlichen Abstandes der Wechselwirkungsbereiche der Einzelverfahren auf oder im Werkstück angewiesen zu sein und ohne auf aus anderen Gründen vorteilhafte Abstandseinstellungen, zum Beispiel den Abstand 0, verzichten zu müssen. Die Werkzeugbestandteile, sind dadurch gezielt synchronisiert.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, daß das eine Bearbeitungswerkzeug und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz moduliert werden und ihre Pulsmodulationen in einer festen oder variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbeziehung stehen.

[0017] Eine besonders einfache Steuerung der Modulation ist dann gegeben, wenn die Pulssteuersignale mindestens eines pulsmodulierten Bearbeitungswerkzeugs als Mastersignal verwendet wird zur Triggerung einer synchronisierten Ansteuerung der Pulsmodulation mindestens eines weiteren Bearbeitungswerkzeugs im Slavebetrieb.

[0018] Damit schneller und auch einfacher auf Änderungen im Prozeßablauf und auch für die Eingabe reagiert werden kann, ist es vorteilhaft, wenn die Phasenbeziehung in Abhängigkeit von und/oder zur Beeinflussung einer oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen gesteuert und/oder geregelt wird.

[0019] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß eine gleichphasige Synchronisation durchgeführt wird. Es ist aber auch möglich, daß eine gegenphasige Synchronisation durchgeführt wird.

[0020] Eine besonders einfache Synchronisation kann dann erreicht werden, wenn der Slavepuls am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt erzeugt wird.

[0021] Ferner ist es vorgesehen, daß Einzelpulse oder Pulspakete erzeugt werden.

[0022] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die gegebenenfalls nicht extern, das heißt nicht von außerhalb der Werkzeugquellensteuerung, ansteuerbare Strahlung bzw. das Bearbeitungswerkzeug oder das intern mit variabler Pulsfrequenz prozeßgeregelter Bearbeitungswerkzeug der Master ist. Letzteres ist beispielsweise für modernere digitale Stromquellen von Lichtbogenprozessen oder rotierende, spanend bearbeitende Werkzeuge wie zum Beispiel Fräsköpfe, deren Drehfrequenz hier als Pulsfrequenz zu verstehen ist, anwendbar.

[0023] Außerdem ist es vorgesehen, daß das weitere Bearbeitungswerkzeug eine Lasereinrichtung und/oder eine Lichtbogenstrahlungseinrichtung und/oder eine Plasmastrahlungseinrichtung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist.

[0024] Ein weiteres vorteilhaftes Verfahren ist dadurch gegeben, die Bearbeitung von Werkstoffen aus der folgenden Auflistung auswählbar ist:

- Trenn- und Abtragverfahren, insbesondere Schneiden, Bohren, Abtragen, Perforieren, Ritzen, Gravieren, Strukturieren oder Reinigen,
- Fügeverfahren, insbesondere Schweißen, Löten oder

Bonden,

- Beschichtungs- und Aufbauverfahren, insbesondere Beschichten, Generieren, selektives Sintern oder Rapid Prototyping,
- Oberflächenbehandlung und -Veredelung, insbesondere Härten, Umschmelzen, Legieren, Dispergieren, Polieren und Beschriften, Formen und Biegen,

wobei die Kombination der Bearbeitungswerkzeuge derart gestaltet ist, daß ihre Wirkungsbereiche, die gegebenenfalls Wirkungen unterschiedlichster Art ausgesetzt sind, auf oder im Werkstück während des Bearbeitungsvorganges überlappen oder unmittelbar benachbart sind.

[0025] Des weiteren wird die Aufgabe für eine Vorrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß gelöst, durch einen ersten Pulsgenerator zur Modulation der Laserstrahlung, einen zweiten Pulsgenerator zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs und durch einen Synchronisator zur synchronen Modulation der Kombination.

[0026] Vorteilhafte Ausführungsformen dieser erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den weiteren Unteransprüchen angegeben.

[0027] Da diese im wesentlichen den das Verfahren weiterbildenden Unteransprüchen entsprechen, wird auf detaillierte Beschreibung derselben verzichtet.

[0028] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele sowie aus den Figuren, auf die Bezug genommen wird. Es zeigen:

[0029] Fig. 1 ein Blockdiagramm einer Master-Slave-Triggerung für die Synchronisation der Pulsmodulation mit fester bzw. geregelter Phasenbeziehung; und

[0030] Fig. 2 mehrere Diagramme als Beispiele für charakteristische Phasenbeziehungen bei synchronisierter Pulsmodulation für Hybridverfahren.

[0031] Anhand der Fig. 1 und 2 werden nunmehr Verfahren und Vorrichtungen zur Hybridbearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet.

[0032] In Fig. 1 ist schematisch eine Vorrichtung 10 zur hybriden Bearbeitung von Werkstoffen durch ein Bearbeitungswerkzeug in Kombination mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug dargestellt. Die Vorrichtung 10 enthält in dem gezeigten Ausführungsbeispiel einen ersten Pulsgenerator 12 zur Modulation einer Laserstrahlung als ein Bearbeitungswerkzeug. Des weiteren enthält die Vorrichtung 10 einen zweiten Pulsgenerator 14 ebenfalls zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs.

[0033] Zwischen dem ersten Pulsgenerator 12 und dem zweiten Pulsgenerator 14 ist ein Synchronisator 16 zwischengeschaltet, der bei der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung 10 Ausgabewerte des ersten Pulsgenerators 12 erhält und wiederum Ausgabewerte dem zweiten Pulsgenerator 14 eingibt. Des weiteren erhält der Synchronisator 16 Eingabewerte, die in Fig. 1 mit einer punktierten Linie dargestellt sind.

[0034] Ferner gibt der erste Pulsgenerator 12 auch Ausgabewerte einer ersten Quelle 20 ein, die im gezeigten Ausführungsbeispiel als Mastersignal verwendet wird. In einigen Fällen kann es aber vorteilhafter sein, die Quelle 22 des weiteren Bearbeitungswerkzeugs als Master zu verwenden.

[0035] In ähnlicher Art und Weise gibt der zweite Pulsgenerator 14 einer zweiten Quelle 22 Ausgabewerte ein, die in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Slave-Signal bzw. für den Slave-Betrieb verwandt wird.

[0036] Es werden also mittels der ersten und der zweiten

Quelle 20 und 22 Pulssteuersignale des mindestens einen Pulsgenerators 12 als Mastersignal verarbeitet zur Triggierung einer synchronen Ansteuerung der Pulsmodulation der Pulssteuersignale des mindestens einen weiteren Pulsgenerators 14 im Slave-Betrieb.

[0037] Wie in Fig. 1 angedeutet, gibt es Eingabeeinrichtungen für Prozeßparameter sowie Sensoren für Prozeßergebnisse zur Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit der Phasenbeziehung in Abhängigkeit und/oder zur Beeinflussung eines oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen.

[0038] Die jeweiligen Ausgabesignale der ersten Quelle 20 und der zweiten Quelle 22 werden für den Prozeßbetrieb verwandt, was in Fig. 1 in dem Kasten "Prozeß" mit den Bezugszeichen 24 angedeutet ist.

[0039] Die oben erwähnten Sensorsignale werden einem Regler 18 zugeführt, der wiederum mit einer Eingabeeinrichtung und somit darüber auch wieder mit dem Synchronisator 16 verbunden ist.

[0040] Die ersten und zweiten Pulsgeneratoren 12 und 14 und der Synchronisator 16 sind daher dazu ausgelegt, die Laserstrahlung und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug relativ zueinander ganzzahlig vielfache Pulsfrequenz zu modulieren und die Pulsmodulationen der ersten und zweiten Pulsgeneratoren 12 und 14 in einer festen oder mittels des Reglers 18 in eine variabel gesteuerte oder geregelte Phasenbeziehung zu stellen.

[0041] Unter anderem kann der Synchronisator 16 für eine gleichphasige Synchronisation ausgelegt sein. Es ist aber auch möglich, den Synchronisator 16 für eine gegenphasige Synchronisation ausulegen. Schließlich besteht noch die Möglichkeit, den Synchronisator 16 für eine Erzeugung des Slave-Pulses am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt zu verwenden.

[0042] Dabei können die ersten und zweiten Pulsgeneratoren 12 und 14 so ausgelegt sein, daß sie Einzelpulse und/oder Pulspakete erzeugen können.

[0043] In Fig. 2 sind mehrere Diagramme als Beispiele für charakteristische Phasenbeziehungen bei synchronisierter Pulsmodulation im Hybridverfahren dargestellt. Das mit a) bezeichnete Diagramm stellt dabei die Modulation des Masters dar. Das Diagramm b) gibt die gleichphasige Slave-Modulation wieder.

[0044] Wie sich aus dem Diagramm c) ergibt, ist es auch möglich, die Slave-Modulation mit geringer Phasenverschiebung, in diesem Fall um  $t_c$  verschoben, zu verwenden. Dies bedeutet ein endlicher zeitlicher Überlapp der Pulsanzeiten, das kann aber auch bei kürzerer Pulsanzeit des Slave einen gemeinsamen Pulsabfallzeitpunkt mit dem Master bedeuten. Schließlich gibt das Diagramm d) eine gegenphasige Slave-Modulation wieder. Dabei ergibt sich kein zeitlicher Überlapp der Pulse, die Pulse können aber auch in direkter Folge verlaufen. Bei dem Diagramm d) besteht eine Phasenverschiebung von  $t_d$ .

[0045] Generell kann also gesagt werden, daß eine gezielte Einstellung des Prozeßzyklus durch angepaßte Synchronisation möglich ist. Beispiele für den Prozeßzyklus sind Temperatur-, Eigenspannungs-, Reaktions-, Materialauftrags-, Materialabtrags-, Materialverbindungs-, Materialtrennungs- sowie Phasenumwandlungs-Zeitverläufe.

[0046] Eine starke Kopplung, also eine gleichphasig synchronisierte Pulsmodulation, bewirkt eine Verbesserung des Tiefschweißeffektes des Lasers, eine Verbesserung des Pinch-Effektes zur Tropfenablösung des MIG Prozesses sowie eine Verbesserung der Lichtbogenführung und -Kontraktion durch den fokussierten Laser.

[0047] Eine Entkopplung, also eine gegenphasig synchronisierte Modulation, wirkt sich vorteilhaft aus für eine Ver-

hinderung der Laserstrahlabschirmung und/oder -Streuung und/oder -Brechung im Lichtbogenplasma. Die zeitliche Trennung und damit Entstörung von Kapillarausbildung und Tropfenablösung mit Werkstoffübergang beim Laser-MIG-Hybridschweißen sind dabei ebenfalls möglich.

[0048] Es ist aber auch eine angepaßte Kopplung, also eine gezielte Phasenverschiebung der synchronen Pulsmodulation des einen Werkzeugbestandteils bzw. der einen Strahlung erreichbar. Beispiele dafür sind schwellenabhängige Teilprozesse, die erst nach Erreichen oder Überschreiten einer Prozeßschwelle durch den Vorpuls des anderen Werkzeugbestandteils bzw. der mindestens einen weiteren Strahlung mit dem entsprechend phasenverzögerten Nachpuls effektiv zur Wirkung kommen. Die Phasenverzögerung wird dabei variiert zur Optimierung von Wirkungsart, Wirkungsgrad, Produktivität, Stabilität sowie Qualität des Hybridprozesses.

[0049] Das weitere Bearbeitungswerkzeug kann eine Laserstrahlung und/oder eine Lichtbogenstrahlung und/oder eine Plasmastrahlung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquellen sein.

[0050] Es werden nun einige Wirkungen beschrieben, und zwar der Vorpulsung durch einen Laser, der Vorpulsung durch einen Lichtbogen- oder Plasmastrahl sowie einer Nachpulsung.

[0051] Die Wirkungen der Vorpulsung durch einen Laser sind:

- Vorwärmen, zum Beispiel zur besseren Benetzbarkeit von Werkstoffen oder zur metallurgischen Einstellung des Prozesses,
- Reinigen,
- Entschichten,
- Vorionisieren,
- chemische Aktivierung,
- Verschmelzen (Vorprozeß).

[0052] Die Wirkungen und Auswirkungen der Vorpulsung durch einen Lichtbogen oder einen Plasmastrahl sind:

- Vorwärmen,
- Absorptionserhöhung für den Laserstrahl durch Oberflächenveränderung, zum Beispiel durch Ändern der Temperatur, Struktur, des Materials und/oder durch eine chemische Reaktion,
- Absorptionserhöhung für den Laserstrahl durch Veränderung der oberflächennahen Atmosphäre und damit des relativen Brechungsindex,
- portionierte Energie- und Materialzufuhr, zum Beispiel zur Überbrückung von Fügespalten.

[0053] Eine Nachpulsung kann folgende Wirkungen bzw. Auswirkungen haben:

- Nachwärmen,
- Oberflächenfinish durch Energie- oder Materialzufuhr,
- Entgasen der Schmelze beim Schweißen und Beschichten,
- Materialabtrag oder Materialverbindung nach Vorbereitung durch einen Vorpuls,
- chemische Reaktion, zum Beispiel Verbinden oder Trennen, nach einer Vorbereitung durch einen Vorpuls.

[0054] Ferner ist es möglich, folgende Größen zu modulieren:

- Leistung,

- Strom,
- Spannung,
- Geschwindigkeit, zum Beispiel des Drahtvorschubes des Zusatzstoffes bzw. der abschmelzenden Elektrode,
- Frequenz.

[0055] Dabei können die Parameter der Modulation folgender Art sein:

- Grundniveau,
- Pulsfrequenz,
- Pulslänge, Pulspause oder Tastverhältnis,
- Pulsspitzenwert,
- Haltezeit für den Pulsspitzenwert,
- zeitlicher Verlauf des Pulsanstieges,
- zeitlicher Verlauf des Pulsabfalls.

[0056] Mit der Erfindung wird also der Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzelverfahren mit der eingesetzten Hybridtechnik erzielt und variabel auf elektronischem Weg ohne mechanische Verstellungen am Werkzeug einstellbar. Vor allem ohne zwangsläufig auf eine Veränderung des örtlichen Abstandes der Wechselwirkungsbereiche der Einzelverfahren auf oder im Werkstück angewiesen zu sein und ohne auf die aus anderen Gründen vorteilhafte Abstandseinstellungen, zum Beispiel den Abstand 0, verzichten zu müssen. Es ist des weiteren möglich, wo es vorteilhaft ist, die Kopplung sogar über den Grad hinaus, der bereits allein durch vollständige Überlappung der Wechselwirkungszonen bzw. bei identischem Fußpunkt der Einzelprozesse auf oder in dem Werkstück gegeben ist, verstärkt werden kann. Andererseits ist durch die Erfindung auch in dieser Konfiguration eine weitgehende Entkopplung der Einzelprozesse erzielbar, soweit es für die hybride Prozeßwirkung wünschenswert ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine synchronisierte Modulation des einen Bearbeitungswerkzeugs bei der Kombination mit dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerkzeug durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das eine Bearbeitungswerkzeug und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz moduliert werden und ihre Pulsmodulationen in einer festen oder variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbeziehung stehen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulssteuersignale mindestens eines pulsmodulierten Bearbeitungswerkzeugs als Mastersignal verwendet wird zur Triggerung einer synchronisierten Steuerung der Pulsmodulation mindestens eines weiteren Bearbeitungswerkzeugs im Slavebetrieb.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenbeziehung in Abhängigkeit von und/oder zur Beeinflussung einer oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen gesteuert und/oder geregelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine gleichphasige Syn-

chronisation durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine gegenphasige Synchronisation durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Slavepuls am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß Einzelpulse oder Pulspakete erzeugt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das gegebenenfalls nicht extern ansteuerbare Bearbeitungswerkzeug der Master ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das intern mit variabler Pulsfrequenz prozeßgeregelter Bearbeitungswerkzeug der Master ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das weitere Bearbeitungswerkzeug eine Lasereinrichtung und/oder eine Lichtbogenstrahlungseinrichtung und/oder eine Plasmastrahlungseinrichtung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung von Werkstoffen aus der folgenden Auflistung auswählbar ist:

- Trenn- und Abtragverfahren, insbesondere Schneiden, Bohren, Abtragen, Perforieren, Ritzen, Gravieren, Strukturieren oder Reinigen,
- Fügeverfahren, insbesondere Schweißen, Löten oder Bonden,
- Beschichtungs- und Aufbauverfahren, insbesondere Beschichten, Generieren, selektives Sintern oder Rapid Prototyping,
- Oberflächenbehandlung und -Veredelung, insbesondere Härten, Umschmelzen, Legieren, Dispergieren, Polieren und Beschriften, Formen und Biegen,

wobei die Kombination der Bearbeitungswerkzeuge derart gestaltet ist, daß ihre Wirkungsbereiche, die gegebenenfalls Wirkungen unterschiedlichster Art ausgesetzt sind, auf oder im Werkstück während des Bearbeitungsvorganges überlappen oder unmittelbar benachbart sind.

13. Vorrichtung (10) zur hybriden Bearbeitung von Werkstoffen durch ein Bearbeitungswerkzeug in Kombination mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, gekennzeichnet durch einen ersten Pulsgenerator (12) zur Modulation der Laserstrahlung, einen zweiten Pulsgenerator (14) zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs und durch einen Synchronisator (16) zur synchronen Modulation der Kombination.

14. Vorrichtung (10) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsgeneratoren (12, 14) und der Synchronisator (16) dazu ausgelegt sind, die Laserstrahlung und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz zu modulieren, und daß die Modulationen der Pulsgeneratoren (12, 14) in einer festen oder mittels eines Reglers (18) in einer variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbeziehung stehen.

15. Vorrichtung (10) nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß mittels mindestens einer er-

sten und einer zweiten Quelle (20, 22) Pulssteuersignale des mindestens einen Pulsgenerators (12) als Mastersignal verarbeitbar sind zur Triggerung einer synchronen Ansteuerung der Pulsmodulation der Pulssteuersignale des mindestens einen weiteren Pulsgenerators (14) im Slavebetrieb, oder umgekehrt. 5

16. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, gekennzeichnet durch Eingabeeinrichtungen für Prozeßparameter und durch Sensoren für Prozeßergebnisse zur Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit der Phasenbeziehung in Abhängigkeit von und/oder zur Beeinflussung eines oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen. 10

17. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Synchronisator (16) für eine gleichphasige Synchronisation ausgelegt ist. 15

18. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Synchronisator (16) für eine gegenphasige Synchronisation ausgelegt ist. 20

19. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Synchronisator (16) ausgelegt ist für eine Erzeugung des Slavepulses am Anfang oder am Ende des Masterpulses. 25

20. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsgeneratoren (12, 14) ausgelegt sind zur Erzeugung von Einzelpulsen und/oder von Pulspaketen. 30

21. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Strahlung eine Laserstrahlung und/oder eine Lichtbogenstrahlung und/oder eine Plasmastrahlung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist. 35

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

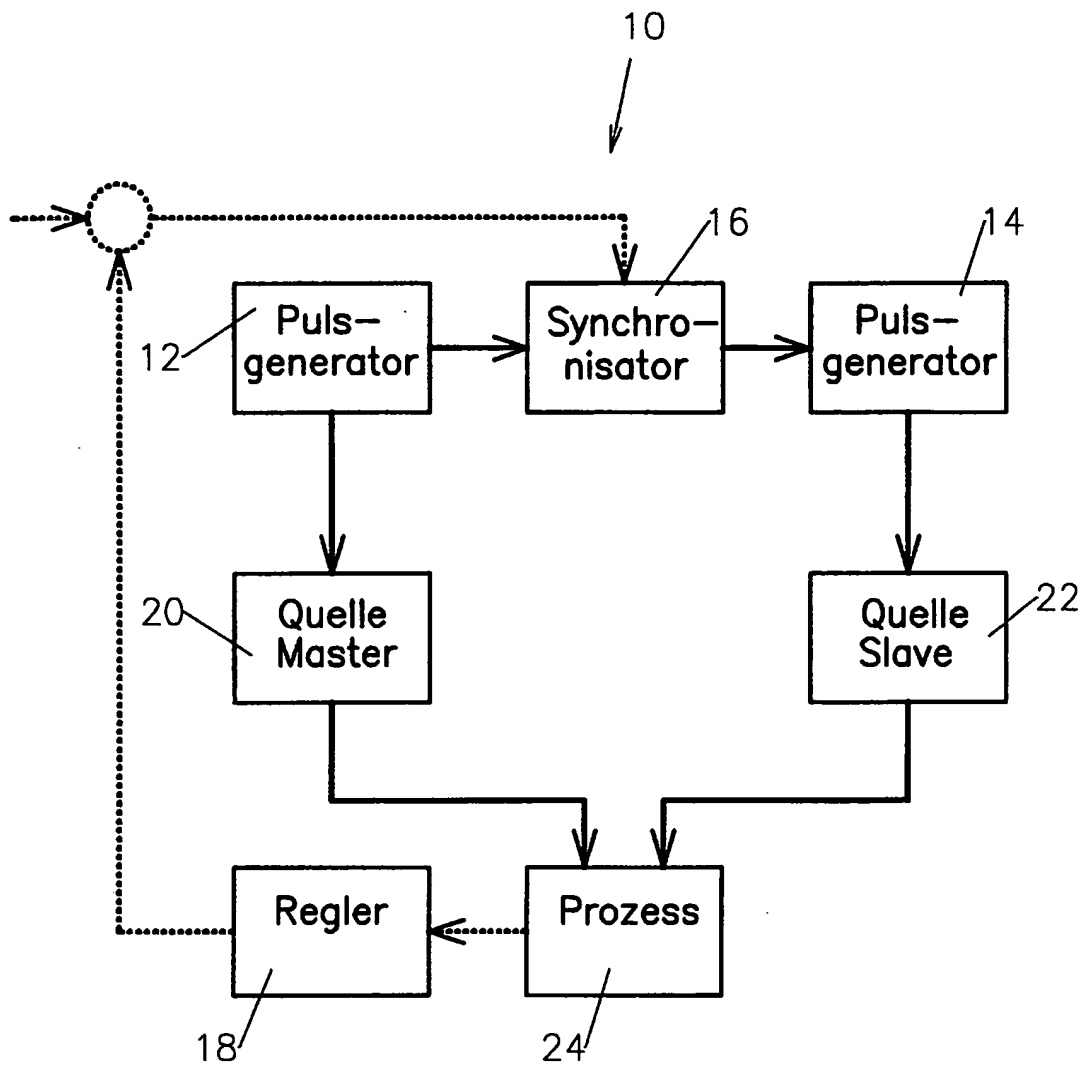


Fig.1



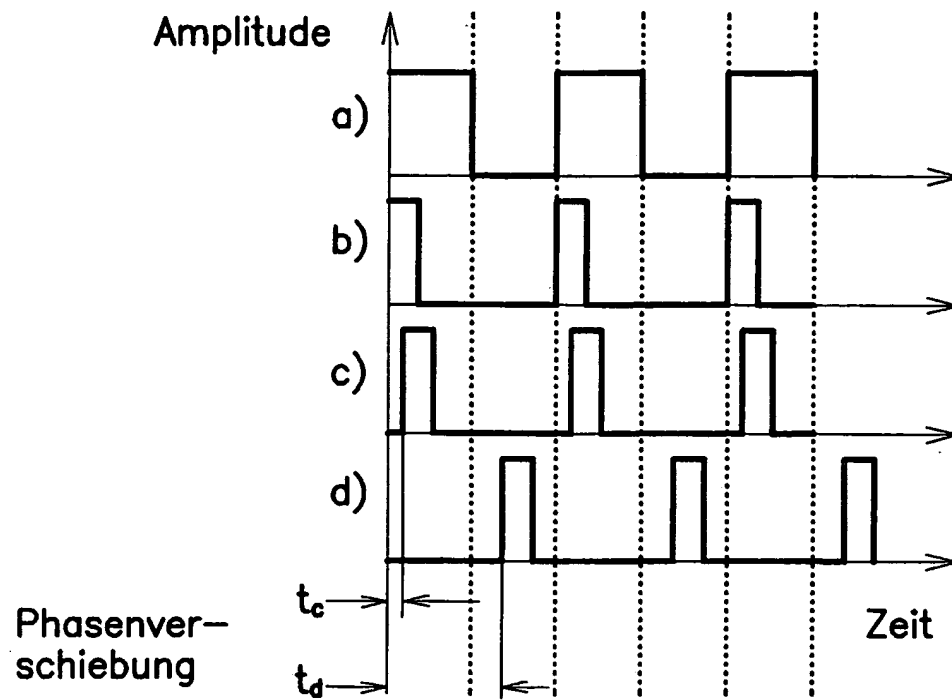


Fig.2